

# 화력발전소 과열기 모델링 및 파라미터 추정

신용환, 이형란, 신휘범  
전기공학과, 경상대학교

## Modeling and Parameter Estimation of Superheater in Thermal Power Plant

Yong-Hwan Shin, Xinlan Li, Hwi-Beom Shin  
Dept. of Electrical Engineering, Gyeongsang National University

### ABSTRACT

This paper presents the superheater dynamic modeling and parameter estimation for the thermal plant boiler. The temperature control is closely related to the power plant efficiency and boiler life. The dynamic modeling of the superheater and desuperheater is essentially needed and developed by using the heat balance principle. The simulated model outputs are well matched with the actual ones. It is expected that the proposed model is useful for the temperature controller design.

### 1. 서론

과열기의 정격온도 유지는 발전소 효율과 밀접한 관계가 있는데 설계치 보다 높을 경우 효율은 증가되나 과열기, 터빈 재질의 열응력 발생으로 보일러의 수명 단축과 손상의 원인이 된다. 또한 정격이하의 온도로 운전 할 경우 효율 감소뿐만 아니라 증기의 질 저하로 인하여 터빈 회전 날개의 침식 유발 등의 문제가 발생한다. 과열기의 주된 입력은 증기온도, 증기흐름, 연소열이며 출력되는 증기 온도와 증기흐름은 다음 과열기의 입력으로 작용한다. 과열증기의 온도를 제어하기 위해서는 과열기와 과열저감기에 대한 동특성 모델이 필요하다.<sup>[1],[2]</sup>

본 논문에서는 과열기 및 과열저감기에 대한 열평형 식을 이용하여 물리적으로 의미 있는 동특성 모델을 유도하고, 발전소 운전 데이터와 비교하여 타당성을 검증한다.

### 2. 과열기 모델링 및 파라메타 추정

#### 2.1 과열기 모델링

과열기의 열평형 관계는 그림 1과 같이 나타낼 수 있으며, 입·출력되는 열에 의해 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

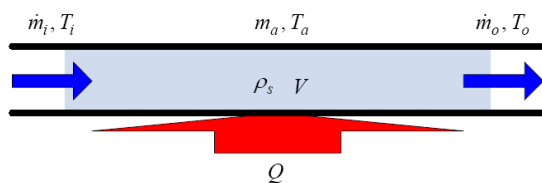


그림 1 과열기 모델  
Fig. 1 Superheater model

$$\frac{dT_o}{dt} = K_1(K_2 \dot{m}_{fuel} + \dot{m}_i(T_i - T_o) + K_3) \quad (1)$$

여기서

$$K_1 = \rho_s V_s + k_a m_a C_a / C_p, \quad K_2 = \frac{H}{C_p}, \quad K_3 = \frac{k_f}{(\rho_s V_s + k_a m_a C_a)} \quad (2)$$

이다. 과열기의 출구 온도  $T_o$ 는 입구 온도  $T_i$ 에 의해 제어된다. 측정 가능한 변수는  $T_i$ ,  $T_o$ ,  $\dot{m}_i$ ,  $\dot{m}_{fuel}$ 이다.

#### 2.2 과열기 파라미터 추정

과열기 온도 모델에서 추정할 변수는 식 (2)에서와 같이  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  등 3개이다. 과열기 온도 모델에 대한 파라미터를 추정하는데 그림 2와 같이 발전기 출력이 500 [MW]에서 270 [MW]로 감소할 때의 데이터를 사용하였다. Final 과열기 모델에 사용된 출력 변동 데이터를 사용하여 3가지 과열기 파라미터 값을 추정하면,  $K_1=0.00026$ ,  $K_2=252.75$ ,  $K_3=296.13$ 이 된다. Final 과열기 모델링에 대한 측정 파형과 MATLAB 시뮬레이션 파형을 그림 3에 나타내었다.

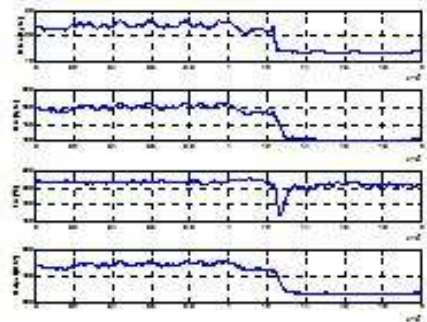


그림 2 Final 과열기 모델에 사용된 데이터  
Fig. 2 Operation data used for Final superheater model

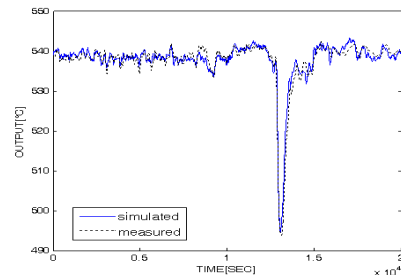


그림 3 Final 과열기 측정 파형 및 시뮬레이션 파형  
Fig. 3 Measured and simulated waveforms of Final superheater

### 3. 과열저감기 모델링 및 파라메타 추정

#### 3.1 과열저감기 모델링

과열저감기의 열평형 관계를 그림 4에 나타내었다. 질량과 열 평형 관계를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\dot{m}_i + \dot{m}_s = \dot{m}_o \quad (3)$$

$$Q_i + Q_s = Q_{out} \quad (4)$$

여기서  $\dot{m}_i$ 와  $\dot{m}_o$ 는 과열저감기의 입력 및 출력되는 수증기 흐름이고  $\dot{m}_s$ 는 과열저감기에서 분사되는 물의 양이다. 또  $Q_i$ 와  $Q_s$ 는 입력되는 수증기에 의한 열량과 분사되는 물에 의한 열량을 각각 나타내며,  $Q_{out}$ 는 과열저감기에서 출력되는 열량으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_{out} = Q_o + Q_c \quad (5)$$

여기서  $Q_o$ 는 출구 증기 열량이고  $Q_c$ 는 과열저감기에서 공기 증으로 방출하는 열량을 나타낸다. 식 (4)를 미분하면 다음 식과 같다.

$$\frac{dQ_i}{dt} + \frac{dQ_s}{dt} = \frac{dQ_{out}}{dt} \quad (6)$$

공기 증으로 누설되는 열량  $Q_c$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$Q_c = k_c(T - T_c) \quad (7)$$

여기서  $T_c$ 는 과열기 표면온도이고,  $T$ 는 과열저감기 안의 수증기 온도를 나타내는데 과열저감기의 시정수는 매우 빠르므로  $T = T_o$ 로 가정해도 된다. 질량흐름 평형 관계식 (3)을 이용하여 다시 쓰면 다음과 같은 결과 식을 얻는다.

$$\frac{dT_o}{dt} = \frac{1}{k_m m_o} (\dot{m}_o(T_i - T_o) - \dot{m}_s T_i + K_1 \dot{m}_s T_s - K_2(T_o - T_c)) \quad (8)$$

여기서  $K_1 = C_s/C_p$ ,  $K_2 = k_c/C_p$ 이다.  $k_m$ ,  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $T_c$ 는 추정해야 할 파라미터이다.  $T_i$ ,  $T_o$ ,  $T_s$ ,  $\dot{m}_i$ ,  $\dot{m}_o$ ,  $\dot{m}_s$ 는 측정 가능한 변수이다.

#### 3.2 과열저감기 파라미터 추정

과열저감기 온도 모델에서 추정할 변수는 식 (8)에서와 같이  $K_m$ ,  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $T_c$  등 4개이다. 과열저감기 온도 모델에 대한 파라미터를 추정하는데 그림 5와 같이 발전기 출력이 500 [MW]에서 270 [MW]로 감소할 때의 데이터를 사용하였다. Final 과열저감기 모델에 사용된 출력 변동 데이터를 사용하여 과열저감기의 4가지 파라미터 값을 추정하면,  $K_m=0.41$ ,  $K_1=0.63$ ,  $K_2=95.9$ ,  $T_c=489.8$ 이 된다. Final 과열저감기의 측정 파형과 MATLAB 시뮬레이션 파형을 그림 6에 나타내었다.

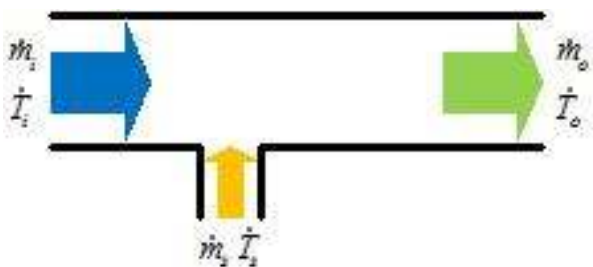


그림 4 과열저감기 모델  
Fig. 4 Desuperheater model

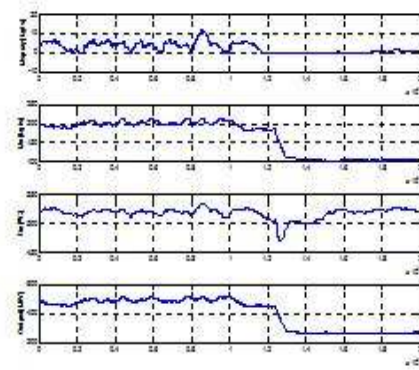


그림 5 Final 과열저감기 모델에 사용된 데이터  
Fig. 5 Operation data used for Final desuperheater model

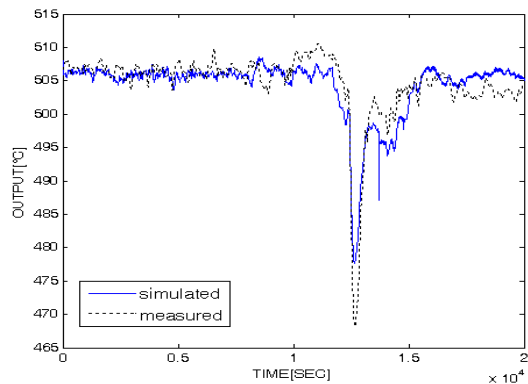


그림 6 Final 과열저감기 측정 파형 및 시뮬레이션 파형  
Fig. 6 Measured and simulated waveforms of Final desuperheater

### 4. 결론

본 논문에서는 과열기 및 과열저감기에 대한 열평형 식을 이용하여 물리적으로 의미 있는 동특성 모델을 유도하였고, 제안하는 모델이 실제 측정 파형과 동특성 모델의 시뮬레이션 파형이 잘 일치하고 있음을 확인할 수 있다. 과열증기의 온도 제어기 설계 및 이득 튜닝에 제안한 모델을 효과적으로 이용할 수 있다.

### 참고 문헌

- [1] A. Ghaffari, A. Chaibakhsh, and H. Parsa, "An optimization approach based on genetic algorithm for modeling benson type boiler," Proc. of 2007 American Control Conf., vol. FrA19.4, pp. 4860-4865, July 2007.
- [2] A. Chaibakhsh, A. Ghaffari, S. Ali, and A. Moosavian, "A simulated model for a once-through boiler by parameter adjustment based on genetic algorithm," Simulation Modeling Practice and Theory, vol. 15, pp. 1029-1051, Aug. 2007.
- [3] H. Aling and J. Heintze, "Closed loop identification of a 600 MW Benson boiler," in Proc. 31st conf. decision control, pp. 909-914, Dec. 1992.